

各種タンパク質の製パン性に関する研究

筒井 知己 金井 節子

Studies on the Baking Properties of Several Proteins

TOMOMI TSUTSUI and SETSUKO KANAI

Functional properties and baking properties of several proteins were estimated. Casein and whey proteins indicated the highest emulsifying properties and the highest forming properties. In baking, bread used these proteins also indicated the highest loaf volume. And the loaf volume increase of bread was negatively correlated to the hardness of the dough.

我々は先に、鶏卵から各構成成分を分離し、それらの機能特性（乳化特性、起泡特性）を調べるとともに、製パンの際の副材料として使用し、各画分の製パン性への影響等を調べた¹⁰⁾。その結果、各画分でかなり製パン性が異なり、卵白を用いた場合は、パンのローフボリュームがかなり小さく、弾力もない硬いパンになった。そして各パンのローフボリュームと各構成成分の機能特性との間には、総括的に相関がみられた。ところで実際の製パンの際には、卵以外に種々のタンパク質やタンパク性食品が副材料として利用されており、たとえば牛乳をパン生地に加えると、パンの容積は減少し、これは生地加熱の際に、乳清タンパク質と小麦グルテンとの結合が弱くなり、ドウを形成しなくなったためと考えられている⁸⁾。また大豆粉をパン生地に添加した場合は、生地はしなやかで、あつかいやすくなり、焼き上げたパンの色つやもよくなるといわれている¹¹⁾。このように種々のタンパク性食品を、製パンの際に副材料として使用しているが、個々のタンパク質が、製パンの際にどのように働いているかは、まだ十分には解明されていない。そこで今回、我々は牛

乳タンパク質構成成分のカゼイン、 α -ラクトアルブミン、 β -ラクトグロブリン、ホエータンパク質、卵タンパク質のオボアルブミン、大豆タンパク質（酸沈殿物、アルコールリッチ濃縮物）について、これら各タンパク質の機能特性を調べるとともに、製パンの副材料として用いて、パンを焼き上げ、そのローフボリューム、かたさ、弾力性等の特性が、各画分の機能特性とどのような関連があるか検討を加えた。

実験方法

1. 試料

タンパク質試料として、カゼインは和光純薬（032-01521）製品を、 β -ラクトグロブリンはシグマ社製（L-6879）を、オボアルブミンは和光純薬（300-00711）製品を、ラクトアルブミンは東京化成製品（A196）を使用した。またホエータンパク質（WPI）（ α -ラクトアルブミン28.9%、 β -ラクトグロブリン63.2%、牛血清アルブミン1.4%、イミノグロブリン6.5%）は、雪印乳業(株)より御提供いただいた。また大豆タンパク質は、昭和フレッシュM-75（酸沈殿大豆タンパク

Key Words: Baking property, Functional property of protein

質)と昭和フレッシュM-400 (アルコールリーチ大豆タンパク濃縮物)を昭和産業(株)より御提供いただいた。

2. 機能特性の測定

乳化活性はPearceとKinsella⁵⁾の方法に従った。すなわち0.5%の各タンパク質溶液(pH7.4、0.02Mリン酸緩衝液に溶解してある)3 mlに、市販コーン油(味の素(株))1 mlを加え、AM-11型ホモジナイザー(日本精器製)で12000rpm、1分間攪拌した。1分放置後この下層溶液を0.05 ml採取し、さらに0.1%SDSを含むpH7.4、0.02Mリン酸緩衝液9.95 mlを加えて希釈した溶液の500nmの透過度を、日立100-60型分光光度計で測定した。次にPearceとKinsella⁵⁾の式に従い、この透過度の値からEmulsion activity index (EAI)を算出した。乳化安定性も、PearceとKinsella⁵⁾の方法に従った。すなわち0.5%の各タンパク質溶液3 mlに市販コーン油1 mlを加え、AM-11型ホモジナイザーで、12000rpm、1分間攪拌した。攪拌後1分間隔で、下層液を0.5 mlずつ採取し、これらに0.1%SDSを含むpH7.4、0.02Mリン酸緩衝液9.95 mlを加えて希釈した。次にこれら各溶液の、500nmの透過度を、日立100-60型分光光度計で測定した。透過度は時間の経過とともに増加するが、最終的にはほぼ一定の値になるので最初の透過度と最終的なほぼ一定の値の半分の数値を算出し、その透過度に相当する経過時間を求めて乳化安定性のインデックスとした。

起泡容量と起泡安定性の測定は、TasneemとSubramanian⁹⁾の方法に従った。すなわち、1%タンパク質溶液15 mlをAM-11型ホモジナイザーで10,000rpm、5分間攪拌後、すぐに内容物を50 mlのメスシリンダーに移した。次に30秒後および30分後の泡の体積を測定した。そして30秒後の泡の体積の、元の体積に対する割合を起泡容量インデックスとした。また30分後の泡の体積が、30秒後の泡の体積の何%をしめるかを算出し、起泡安定性インデックスとした。

3. 水分吸着容量の測定

水分吸着容量は、Sosulski⁷⁾の方法に従った。すなわち各タンパク質1.5 gを遠心チューブにとり、pH4.6、0.02Mリン酸緩衝液を9 ml添加後ガラス棒で1分間攪拌した。さらに10分後同様に攪拌した。この操作を三回くり返し、次に遠心チューブを久保田KR-20000S遠心分離機で1600G、25分間遠心分離した。そして遠心チューブ内の上澄液をすて、各タンパク質に吸着された緩衝液の重量を測定し水分吸着容量とした。

4. 生地の物性測定

カナディアン・ウェスタン・スタンダード No1 (1CW) 小麦粉(粗タンパク質14.2%、粗灰分0.5%)200g、砂糖12g、食塩4g、各タンパク質1.5gをケンミックスミキサー(ケンミックス・メジャー)に加え、ホイッパーで、ダイヤルの強度Iで5分間攪拌後、金具をフックにかえ、水135 ml、バター8 gを加えてから、ダイヤルの強度Iで5分、強度IIで5分、さらに強度IIIで5分間混捏し、生地を生成した。この生地をビニール袋に入れ、4℃の冷蔵庫で1晩放置後、生地の一部を、内径5.5 cm、深さ2 cmの円形カップに移し、生地の温度10℃で、その硬さや弾力性を、飯尾電気製レオメーターで、18 mm (直径)のプランジャーを用い、サイクルスピード6 cy/m、クリアランス14 mm、ロードレンジ20 kgで測定した。

5. 製パン試験

製パン試験は、表1のような原料配合でおこなった。まず1CW小麦粉、砂糖、食塩、各タンパク質、ドライイースト(オリエンタル酵母(株))を一緒に三回ふるいにかけた。次にこれらを、フナイオートベーカリーFAB-72に加え、水144 ml、バター8 gを加えて、5分間ミキシングした。さらに製パンの標準コースにセットして、3時間50分かけて、混捏、発行、焼成をおこなった。またコントロールとしてタンパク質を加えないものも一つ用意した。製パンは、同じ配合のものを三回繰り返して焼成した。焼成したパンは、重量を測定後、ローフボリュームを菜種置換法で測定

した。次にパンの物性を測定するため、厚さ2 cmにスライス後、耳の部分を除き、5.5cmの正方形に整形した。この硬さや弾力性を、飯尾電気製レオメーターで、18mm（直径）のプランジャーを用い、サイクルスピード、6 cy/m、クリアランス5 mm、ロードレ

倍で観察した。

実験結果および考察

1. 各タンパク質の機能特製

各タンパク質の乳化活性と乳化安定性は、表2のようになった。各タンパク質の中では、カゼインが乳化活性インデックス19.88 m^2/g と最も高い値を示し、これについて、やはり乳タンパク質の β -ラクトグロブリンやホエータンパク質（ β -ラクトグロブリンが最も多く、 α -ラクトアルブミンも含む）の値が高かった。これに比べ、卵のオボアルブミンや、大豆タンパク質（M-75）の乳化活性インデックスは、乳タンパク質の各値の約半分の数値であった。

次に乳化安定性では、 β -ラクトグロブリンが2.48minと最も高く、次いでカゼイン、ホエータンパク質と、やはり乳タンパク質が全般に高い値を示した。一方オボアルブミンの、乳化安定性インデックスは、 β -ラクトグロブリンの値の30%程であり、大豆タンパク質、M-400、M-75の乳化安定性インデックスも、 β -ラクトグロブリンの値の約40%、約20%であった。

一方各タンパク質の起泡容量や起泡安定性

Table 1 Typical bread formula

Ingredient	Quantity
Wheat flour	200 g
Sugar	12 g
Salt	4 g
Protein	1.5 g
Butter	8 g
Dry yeast	2 g
Water	144 ml

ンジ20kgで測定した。

6. 電子顕微鏡観察

各パンの切片を、液体窒素で凍結後、日立走査電子顕微鏡S2150を用い、40倍から500

Table 2 Emulsifying properties of proteins

	casein	α -lactalbumin	ovalbumin	whey protein	β -lactoglobulin
Emulsifying activity index (m^2/g)	19.88	5.22	6.15	16.91	16.85
Emulsion stability index (min)	1.85	1.10	0.75	1.60	2.48
	soy protein (M-400)	soy protein (M-75)			
Emulsifying activity index (m^2/g)	12.09	9.14			
Emulsion stability index (min)	0.97	0.50			

は、表3のようになった。ここでも乳タンパク質カゼインの起泡容量は、起泡容量インデックス270.4と最も高く、これに次いで、 β -ラクトグロブリンやホエータンパク質の値が高かった。これに対してオボアルブミンや大豆タンパク質の起泡容量インデックスは、乳タンパク質の60~70%の値であった。また起泡安定性もやはりカゼインやホエータンパク質の値が高く、これらを生地やエマルジョンをつくる際の副材料として用いると、十分な乳化力や起泡力を発揮することがわかった。実際、カゼインは、パンや乳製品のタンパク質強化やアイスクリームの乳化剤として利用されている⁴⁾。またカゼインの起泡力は、極めて大きいので起泡剤としても多方面に利用さ

れている³⁾。一方Pearsonら⁶⁾は、分離大豆タンパク質が乳タンパク質に比べ、乳化剤としての能力が劣ると報告している。しかしInkelaarら²⁾は、ソーセージに、分離大豆タンパク質を用いた場合は、すぐれた結果が得られたと述べており、これは、タンパク質の乳化作用以外の他の因子、タンパク質の保水性等が関係しているのかもしれない。

2. 各タンパク質の水分吸着容量

今回用いた試料のうち、オボアルブミン、ホエータンパク質、 β -ラクトグロブリンは、pH4.6、0.02Mリン酸緩衝液に溶解してしまい、水分吸着容量は測定できなかった。しかしこれら以外の各タンパク質の水分吸着容量は、表4のようになった。 α -ラクトアルブ

Table 3 Forming properties of proteins

	casein	α -lactalbumin	ovoalbumin	whey protein	β -lactoglobulin
Foam capacity (% volume increase)	270.4	122.8	138.0	228.0	248.8
Foam stability (% foam volume)	80.8	0	55.2	73.6	62.7
	soy protein (m-400)	soy protein (m-75)			
Foam capacity (% volume increase)	174.8	156.8			
Foam stability (% foam volume)	53.0	62.1			

Table 4 Water absorption capacity of proteins

	casein	α -lactalbumin	soy protein (M-400)	soy proyein (M-75)
Water absorption capacity	5.4063	0.9204	8.6446	3.3182

ミンは、用いた緩衝液にほとんど溶解せず（試薬の調整段階で変性されているためか）、0.9204 gの緩衝液を吸収した。これに対してカゼインは、5.4063 gの緩衝液を吸収した。一方大豆タンパク質は、M-400が8.6446 gの緩衝液を吸収し、M-75が3.3182 gの緩衝液を吸収した。以上の結果、カゼインや大豆タンパク質M-400の水分吸着容量が、各タンパク質の中でも、かなり大きいことがわかった。このような大豆タンパク質の水分保持特性は、大豆タンパク質を加えた小麦粉生地機能特性予知に、役立つといわれている¹¹⁾。

3. 生地の物性

1CW 小麦粉に、砂糖、食塩、各タンパク質と、バター、水を加えて混捏した生地を、一晩冷蔵した後、硬さや弾力性を測定した結果は表5のようになった。各生地の中では、大豆タンパク質M-400やM-75を用いた生地が最も硬く、 β -ラクトグロブリンやホエータンパク質を加えた生地がこれらに次いで硬かった。一方、カゼインを加えた生地は、コントロール（タンパク質無添加物）よりやわらかい値を示した。大豆タンパク質を加えた生地が硬かった理由として、大豆タンパク質の水分吸着容量が、各タンパク質の中でも高く、生地中での遊離状態の水が少ないことが考えられる。

Table 5 Hardness and elasticity of baked bread

Variety of protein	Hardness	Elasticity
Casein	0.17 \pm 0.02	12.60 \pm 0.69
α -Lactalbumin	0.22 \pm 0.03	13.62 \pm 0.25
Ovalbumin	0.22 \pm 0.02	14.16 \pm 1.09
Whey protein	0.23 \pm 0.06	13.17 \pm 1.22
β -Lactoglobulin	0.24 \pm 0.03	14.61 \pm 0.97
Soy protein (M-400)	0.32 \pm 0.04	13.87 \pm 0.31
Soy protein (M-75)	0.28 \pm 0.06	15.20 \pm 1.74
No protein	0.21 \pm 0.02	11.67 \pm 0.78

Haltonら¹²⁾は、小麦粉生地中に吸着されないうちに残っている水が、生地の硬さや粘性に影響を与えると報告している。そして生地中のグルテンの網状構造形成も、水とでんぷんによって調節されると述べている。しかしカゼインは、水分吸着容量が比較的高い割には、生地がやわらかく、水分吸着容量以外の他の機能特性が影響しているものと思われた。また弾力性でも、カゼインを加えた生地は、他の生地より多少低い値を示した。

4. 製パン試験結果

各タンパク質を加えて焼き上げたパンの外観は、Fig. 1のように、重量とローフボリュームはTable 6のようになった。各パンの中では、カゼインを加えたパンが、ローフボリューム1451 ml（三回の平均値）と最も大きくふくらんでおり、 α -ラクトアルブミン、オボアルブミン、ホエータンパク質を加えたパンのローフボリュームは、いずれも1400 ml台で似ていた。一方 β -ラクトグロブリンを加えたパンのローフボリュームは、カゼインを加えたパンのローフボリュームより100 ml程小さく、大豆タンパク質M-400、M-75を加えたパンのローフボリュームは、カゼインを加えたパンのそれより200 ml程低下していた。次に、これらの各パンの内層は、図2のようになり、カゼイン、 α -ラクトアルブミン、ホ

Table 6 Loaf volume of baked bread

Variety of protein	Weight of baked bread (g)	Loaf volume (ml)
Casein	293.9	1451
α -Lactalbumin	294.5	1426
Ovalbumin	298.5	1417
Whey protein	296.0	1413
β -Lactoglobulin	293.7	1339
Soy protein (M-400)	290.5	1267
Soy protein (M-75)	293.3	1240
No protein	293.5	1290

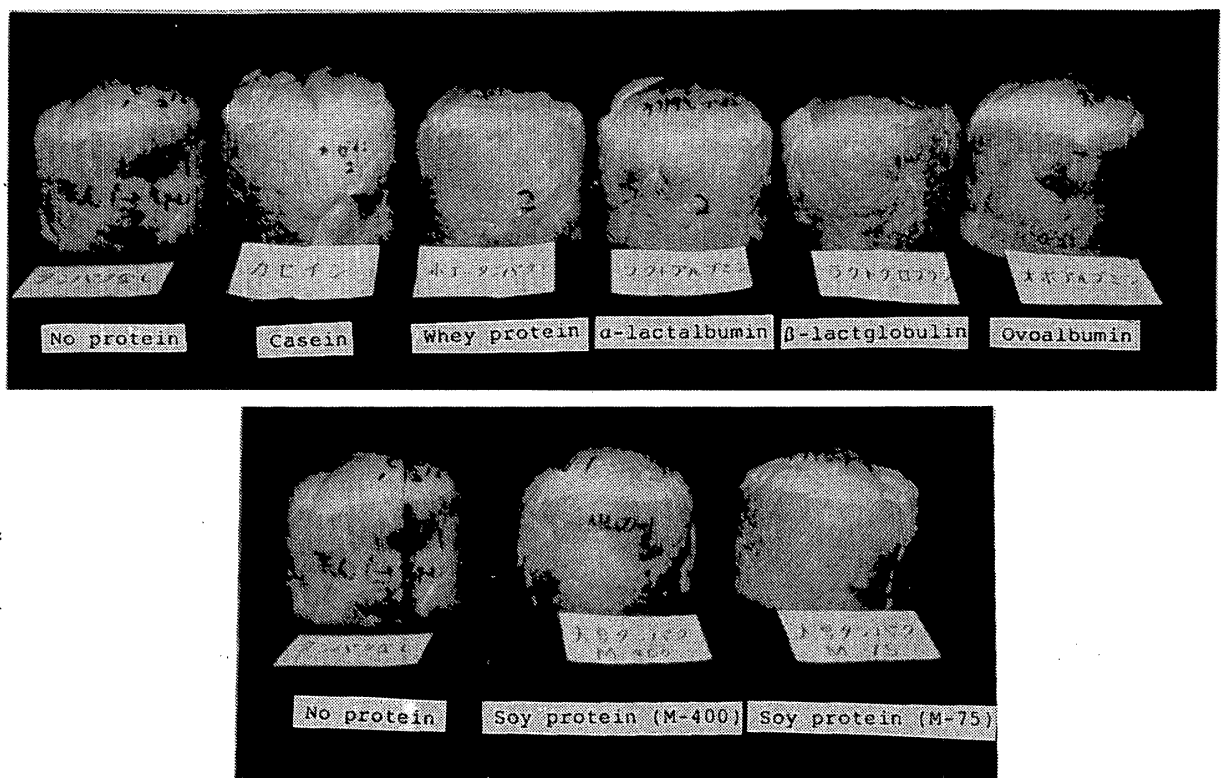


Fig. 1. Bread baked from 1CW-flour

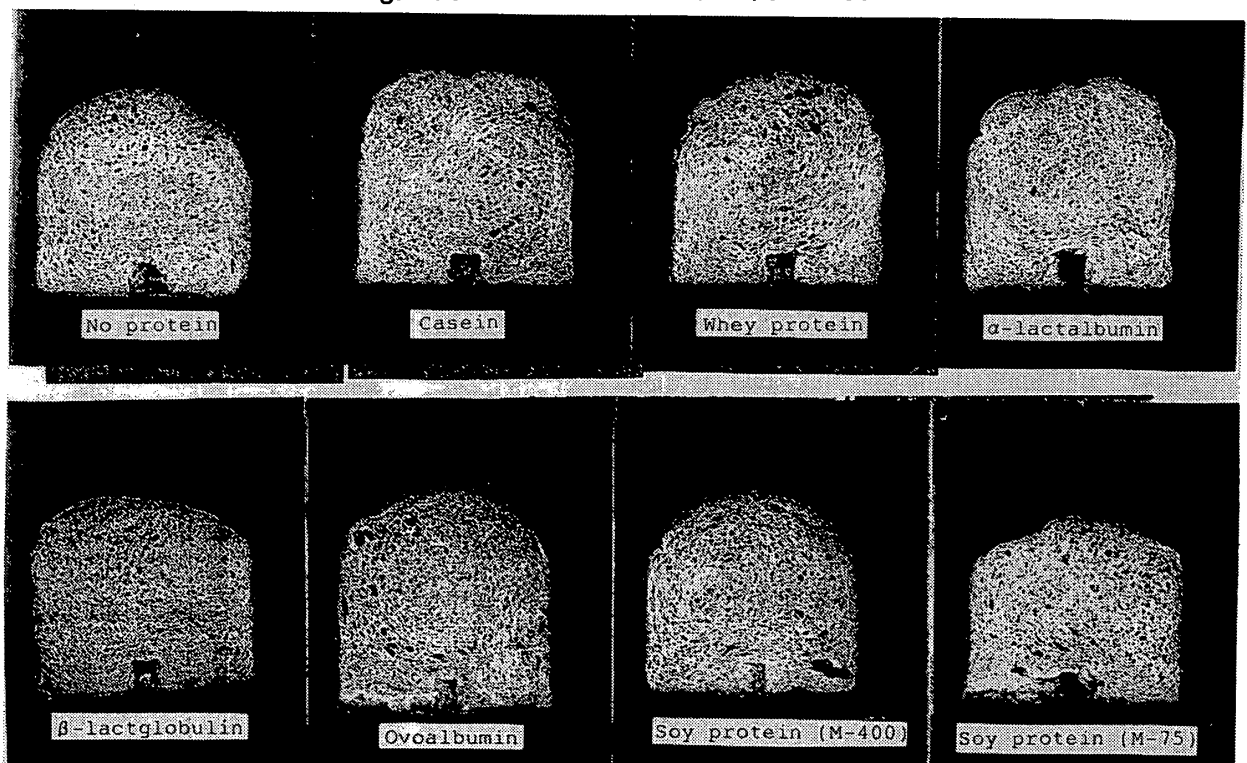


Fig. 2. Vertical cross-section of bread baked from 1CW-flour

エータンパク質を加えたパンのすだちが比較的よく、一方大豆タンパク質を加えたパンは、多少すだちが荒かった。次に各パンの硬さや弾力性を、レオメーターで測定した結果は、表7のようになった。これらの中では、カゼインを加えたパンが比較的やわらかく、生地

のボリュームが大きく、すだちのよい点と関連するものと思われた。一方大豆タンパク質を加えたパンは、かなり硬く、これらのパンのローフボリュームが小さい点から納得できる値であった。しかし弾力性では、カゼインを加えたパンは、大豆タンパク質 (M-75)、β-ラクトグロブリン、オボアルブミンを加えたパンより低い値を示した。

次に各パンの切片を凍結後、電子顕微鏡で観察すると、Fig 3、Fig 4 のような結果が得られた。これらの各パンの中では、カゼインを加えたパンは、気泡膜がなめらかでうすくのびていた。一方 α -ラクトアルブミンやホエータンパク質を加えたパンは、やはり気泡

Table 7 Haedness and elasticity of baked bread

Variety of protein	Hardness	Elasticity
Casein	0.17 ± 0.02	12.60 ± 0.69
α -Lactalbumin	0.22 ± 0.03	13.62 ± 0.25
Ovalbumin	0.22 ± 0.22	14.16 ± 1.09
Whey protein	0.23 ± 0.06	13.17 ± 1.22
β -Lactoglobulin	0.24 ± 0.03	14.61 ± 0.97
Soy protein (M-400)	0.32 ± 0.04	13.87 ± 0.31
Soy protein (M-75)	0.28 ± 0.06	15.20 ± 1.74
No protein	0.21 ± 0.02	11.67 ± 0.78

膜はうすいが、膜の表面が多少荒れている感じをうけた。また大豆タンパク質M-400、M-75を加えたパンはいずれも膜が厚く、ローフボリュームの小さい点と関連していた。以上の結果から、カゼインを加えたパンは、ローフボリュームが大きく、すだちもよく気泡膜のうすい良質なパンであることがわかった。この理由として、カゼインは、各タンパク質の中でも、乳化特性や起泡特性がすぐれており、カゼインを加えると、生地のみキシングの際に、小麦粉と副材料との乳化がうまくいき、タンパク質-脂質-でんぷんがバランスよく結合した膜ができたものと考えられた。一方 α -ラクトアルブミンや、ホエータンパク質を用いると、カゼインについて良質なパンをつくれることがわかった。

先の卵黄構成成分を用いた製パン試験では焼成した各パンのローフボリュームは、各構成成分の乳化特性、起泡特性と総括的に相関がみられた。しかし今回の各タンパク質の、機能特性の各数値と、各パンのローフボリュー

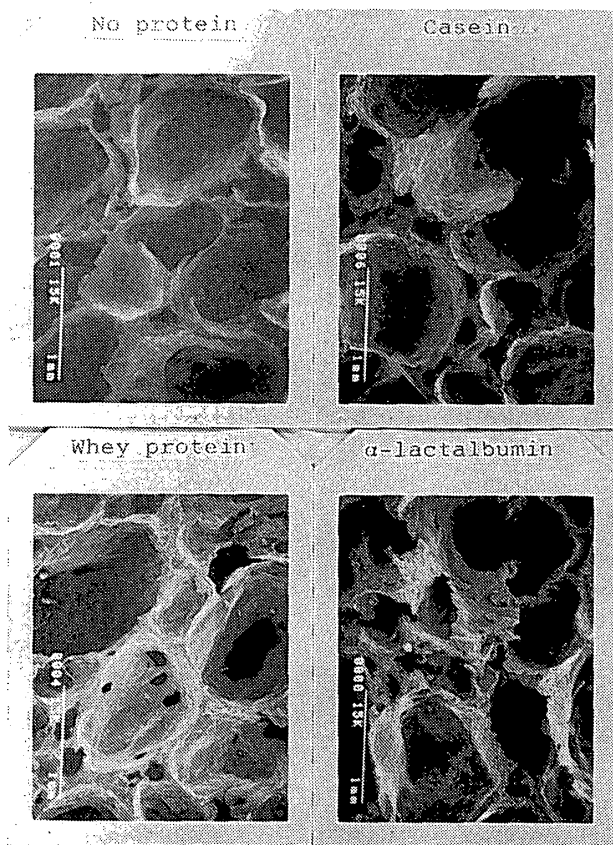


Fig. 3. Electron microscopic patterns of bread from 1CW-flour

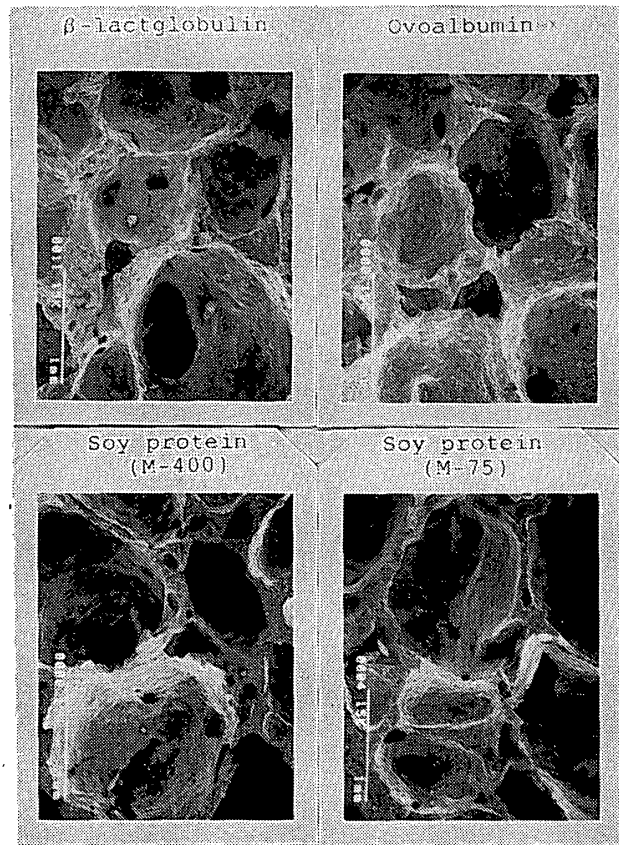


Fig. 4. Electron microscopic patterns of bread from 1CW-flour

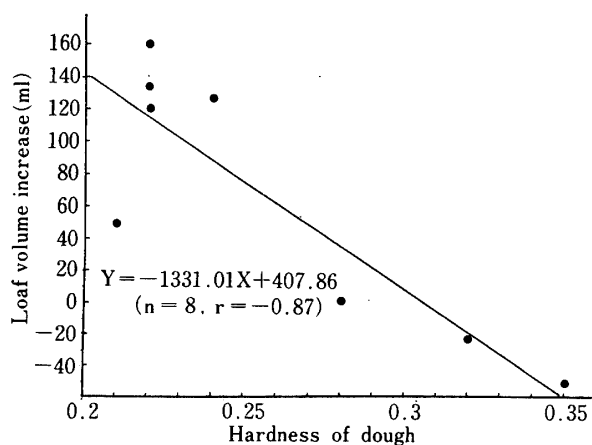


Fig. 5. Relationship between Hardness of dough and Loaf volume increase

ムとの間には、特に相関はみられなかった。この原因の一つとして、 β -ラクトグロブリンは、乳化特性や起泡特性がすぐれているのに、製パンに利用すると、あまりローフボリュームが増加しなかったことがあげられる。

一方各パンの生地を、一晩冷蔵した後、測定した硬さは、各パンのローフボリュームインクリーズ（各パンのローフボリュームとコントロールのローフボリュームとの差）との間には図5のような関係がみられた。そして生地の硬さ（X）と、ローフボリュームインクリーズ（Y）の間には、負の相関がみられ、 $Y = -1331.01 X + 407.86$ （ $n = 8$ 、 $r = -0.87$ ）の回帰式が得られた。この結果、一晩放置した生地のやわらかいパンほど、ローフボリュームの大きなパンになることがわかった。以上の結果、パン製造の際に、添加されるタンパク質は、生地の混捏の際の油脂の乳化や、起泡膜の形成に重要であるが、その水分吸着容量もパンの物性に影響を与えるので、考慮する必要があることがわかった。

要 約

各種タンパク質の機能特性を測定し、さらにこれらのタンパク質を製パン試験に用いて以下のような結果を得た。

1. 各タンパク質の乳化活性では、カゼインの値が最も高く、ホエータンパク質、 β -ラクトグロブリンが、これに次いで高い値を示

した。一方乳化安定性では、 β -ラクトグロブリンの値が最も高く、次いでカゼイン、ホエータンパク質の順であった。

2. カゼイン、ホエータンパク質、 β -ラクトグロブリンは、いずれも起泡容量、起泡安定性でも高い値を示した。

3. 各種タンパク質を加えて、焼き上げたパンの中では、カゼインを加えたパンが最もローフボリュームが大きく、やわらかいパンであった。これに次いで、 α -ラクトアルブミン、オボアルブミン、ホエータンパク質を加えたパンのローフボリュームが大きかった。

4. 各パンのローフボリュームと、各タンパク質の乳化特性や起泡特性との間には、特に相関はみられなかった。しかし各パンのローフボリュームインクリーズ（コントロールとのローフボリュームの差）（Y）は、一晩冷蔵した生地の硬さ（X）との間に、 $Y = -1331.01 X + 407.86$ （ $n = 8$ 、 $r = -0.87$ ）の回帰式が得られた。

文 献

- 1) HALTON, P. and SCOTT, B., : Cereal Chem., **14**, 201 (1937).
- 2) INKLAAR, P. A. and FORTUIN, J., : Food Technol., **23**, 103 (1969).
- 3) 神谷 誠：畜産食品の科学、大日本図書（東京）p18 (1974).
- 4) 中江 利孝：“牛乳、乳製品”、養賢堂（東京）p244 (1983).
- 5) PEARCE, K. N. and KINSELLA, J. E., : J. Food Sci., **26**, 716 (1978).
- 6) PEARSON, A. M., SPOONER, M. E., HEGRTY, G. R. and BLATZLER, L. J., : Food Technol., **19**, 1841 (1965).
- 7) SOSULSKI, F. W., : Cereal Chem., **39**, 344 (1962).
- 8) 田中 康夫、松本 博光：“パン材料の科学”、建帛社（東京）p153、(1982).
- 9) TASNEEM, R. and SUBRAMANIAN, N., : J. Agric. Food Chem., **34**, 850 (1986).
- 10) 筒井 知己：聖徳栄養短大紀要、**23**、1 (1992).
- 11) 渡辺 篤二、柴崎 一雄：大豆タンパク質、建帛社（東京）p245 (1974).